



**Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Física  
Licenciatura Em Física  
Trabalho Final de Curso**

# **Uma Proposta para Ensinar Física: O Conceito de Campo e a Sua Evolução Histórica**

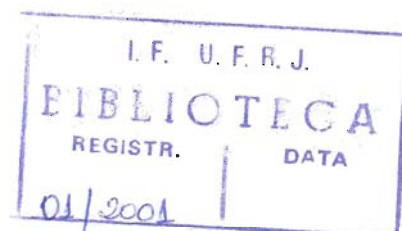
**Aluno: Murilo de Freitas Magalhães**

**Orientadora: Wilma Machado Soares Santos**

**Junho 2001**

**01/2001**

**1**



## Agradecimentos

Antes de tudo, gostaria de agradecer aos meus pais e meus irmãos por terem me oferecido todas as condições necessárias para que eu chegasse até aqui. Esse trabalho é a prova de que todos os esforços valeram a pena e eu o dedico a vocês, principalmente aos meus pais.

À professora Wilma pela inspiração, pela excelente orientação e por ter me mostrado que ser professor pode ser uma das atividades mais importantes na vida de um homem. Não tenho mesmo como agradecer todo o apoio dado.

À professora Penha, pela colaboração que foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

Ao grande amigo Rodrigo, por toda ajuda dada até hoje, pelas horas intermináveis no computador e na Internet, por ter tratado todas as fotos que foram escaneadas (pessimamente) por mim, pelo auxílio no Powerpoint. Enfim,, obrigado mesmo por tudo. Nunca vou esquecer !

À grande amiga Carolina (rainha, rainha ...) por ter me aturado todo esse tempo, estando sempre do meu lado nos momentos em que eu mais precisei. A lembrança mais forte que eu vou ter da faculdade vai ser a nossa amizade.

Ao professor Herli Menezes, porque eu sei que mesmo de longe, continua torcendo por mim.

Ao Instituto de Física da UFRJ, à coordenação do curso de Licenciatura e à Secretaria de Graduação ("mamãe" Nancy).

## Resumo

***“Diga-me e eu esquecerei, ensina-me e eu lembrarei, envolva-me e eu aprenderei”*** (Benjamin Franklin )

Neste trabalho, propomos uma forma alternativa para apresentar os conceitos de campo elétrico e magnético ao aluno do Ensino Médio, tendo como inspiração a Teoria Construtivista proposta por Ausubel e Novak.

Não se trata somente de ensinar os alunos, mas sim de fazê-los aprender os complexos conceitos que estão envolvidos na noção de campo em Física.

A História da Física – por apresentar os problemas que levaram à descoberta, seja, de um dado conceito – mostra os elementos que dão significado ao conceito. Por isso, acreditamos que ela possa ser integrada ao processo de ensino-aprendizagem significativo, tendo um papel auxiliar. A importância desses conceitos na pesquisa corrente em Física é ilustrada pelo Filtro de Wien.

## Abstract

***“Tell me and I’ll forget, teach me and I’ll remember, involve me and I’ll learn.”***  
(Benjamin Franklin)

In this work, we propose a alternative way to introduce the concepts of electric and magnetic fields to high school students, which is inspired by the so called Constructivism of Ausubel and Novak.

This is not only about to teach the students, but makes them learn the complex concepts involved in the notion of field in Physics.

The History of Physics discloses the elements that give meaning to a concept (say), in so far as it presents the problems that led to the discovery of the concept. Therefore we believe that it can be brought into the process of meaningful teaching and learn in an auxiliary role. The importance of these fields in present day research in Physics is illustrated by Wien’s filter.

# Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Uma Discussão sobre Concepções Alternativas .....</b>	<b>7</b>
2.1. Questões .....	7
2.2. Levantamento das Respostas .....	8
2.3. Análise dos Resultados .....	12
<b>3. Catálogo Historiográfico .....</b>	<b>13</b>
3.1. Cargas e Magnetos .....	13
3.2. A Lei de Coulomb para as Forças Elétricas e Magnéticas .....	14
3.3. O Campo Eletromagnético .....	15
<b>4. Fundamentação Teórica .....</b>	<b>17</b>
4.1. O Conceito de Campo em Física – uma Introdução .....	17
4.2. Campo Gravitacional Terrestre .....	17
4.3. Campo Elétrico .....	18
4.3.1. Definição do Vetor Campo Elétrico .....	18
4.3.2. Lei de Coulomb .....	19
4.3.3. Linhas de Força .....	21
4.3.4. Campo Elétrico Uniforme .....	22
4.3.5. Campo Elétrico de uma Carga Puntiforme .....	23
4.4. Campo Magnético .....	26
4.4.1. Ímãs e suas Propriedades .....	26
4.4.2. Campo Magnético .....	28
4.4.3. Campo Magnético Terrestre .....	29
4.4.4. Campo Magnético Produzido por Correntes Elétricas .....	30
4.4.4.1. Campo Magnético Produzido por um Fio Retilíneo .....	31
4.4.4.2. Campo Magnético Produzido por uma Espira .....	32
4.4.4.3. Campo Magnético Produzido por uma Bobina .....	32
4.4.4.4. Campo Magnético Produzido por um Solenóide .....	33

4.5. Força Magnética .....	34
4.6. Movimento de Cargas em Campos Elétricos e Magnéticos Cruzados – Filtro de Wien .....	36
<b>5. Experiências Propostas .....</b>	<b>37</b>
5.1. Eletroscópio de Dupla Folha .....	37
5.2. Experiência com Limalhas de Ferro .....	38
5.3. Experiência de Oersted .....	39
<b>6. Guia do Professor .....</b>	<b>39</b>
6.1. Proposta de Roteiro para o Ensino dos Conceitos Abordados ....	39
6.2. Uma Proposta de Avaliação .....	40
6.3. Planejamento do Curso .....	41
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>42</b>
<b>8. Referências .....</b>	<b>43</b>
<b>Apêndice .....</b>	<b>44</b>

## 1. Introdução

Resumo

A importância do aprendizado da física se encontra diretamente relacionada à compreensão do mundo em que vivemos. Os materiais magnéticos são utilizados em grande parte dos equipamentos que fazem parte do nosso dia a dia, tais como computadores, televisores, geladeiras, motores e até ímãs e campainhas. Portanto, a compreensão dos fenômenos e leis físicas relacionadas a esse tema pelos alunos do Ensino Médio é de fundamental importância para o entendimento do mundo cotidiano desses alunos; conseqüentemente, para o que se chama de "educação cidadã".

Pesquisas mostram que muitos alunos do Ensino Superior ainda apresentam dificuldades em lidar com os conceitos de campo elétrico e campo magnético, devido à abstração neles envolvida: esses conceitos, embora presentes no dia-a-dia, estão fora do nosso domínio concreto [1]. Isso tem dificultado o *aprendizado significativo* [2] dos alunos. Outro trabalho descreve as dificuldades de estudantes de faixa etária entre 6 e 17 anos em compreender o conceito de campo [3] e emprega o método clínico de Piaget para analisar algumas propriedades desse conceito. Portanto, o ensino desses conceitos requer maiores cuidados na elaboração da descrição teórica, do que feitos em alguns dos livros textos convencionais [4], [5].

A dificuldade de aprendizagem de tais conceitos está presente, também, no Ensino Médio. Podemos citar, como exemplo, uma experiência no Colégio Pedro II, unidade Tijuca II, no Rio de Janeiro. Em uma aula introdutória sobre o conceito de força magnética, ministrada a alunos do 3º ano do Ensino Médio, os alunos tiveram grande dificuldade em compreender o conceito de campo. Nessa aula, ao invés de simplesmente mostrar a fórmula de força magnética, como é feito tradicionalmente, foi proposto que os alunos desenvolvessem o conceito de força através da noção de campo (no caso, o campo magnético). O resultado não foi satisfatório, devido à dificuldade de compreensão do conceito de campo.

De forma a tornar o conceito de campo mais objetivo e concreto, as aulas desse temas foram feitas partindo do conceito de campo gravitacional para introduzir uma idéia geral de campo; dessa feita, o resultado foi positivo, ou seja, o campo gravitacional foi utilizado funcionando como *concepção alternativa* do aluno. Na mesma tentativa mostramos, também, a ação de ímãs em limalhas de ferro e, de novo, a resposta dos estudantes foi positiva.

Esse trabalho tem como objetivo o ensino dos conceitos de campo elétrico e magnético. Uma reformulação nos textos teóricos, visando um melhor entendimento do conceito de campo mostra-se necessária. Para tal reformulação, inspiramo-nos na *Teoria Construtivista*, de David Ausubel e Joseph Novak [6].



Introdução  
METODOLOGIA

Inicialmente, elaboramos um formulário com questões que apontassem concepções alternativas dos alunos. Utilizamos essas concepções, juntamente com fatos da História da Física, exposta por George Gamow [7] e Morris H. Shamos [8], visando uma aprendizagem significativa. Desse modo, o conhecimento dos alunos foi construído, de acordo com as propostas de Novak e D. B. Gowin [9].

Aplicação

Finalmente, mostraremos a importância do uso do campo elétrico e do campo magnético na pesquisa em Física Atômica e Molecular desenvolvida no Instituto de Física na UFRJ, com uma explicação sobre a produção de feixes no acelerador de partículas do tipo Tandem [10], onde a velocidade e a energia dessas partículas dependem desses campos.

## 2. Uma Discussão sobre Concepções Alternativas

### 2.1. Questões

Para verificar as concepções alternativas dos alunos, isto é, os conceitos preliminares acerca dos conhecimentos relativos aos campos gravitacional, elétrico e magnético, elaboramos seis questões. O questionário foi respondido por 120 alunos de 1ª e 2ª séries do Ensino Médio do Colégio Pedro II, unidade Tijuca II.

1. Por que a Terra atrai os corpos para a sua superfície?
2. Ímãs atraem-se ou se repelem? Por quê?
3. Imagine-se perdido numa floresta e você dispõe somente de uma bússola. Você saberia usá-la?
4. Você já ouviu falar em campo elétrico? A que você associa?
5. Você já ouviu falar em campo magnético? A que você associa?
6. Você conhece algum fenômeno onde os campos elétrico e magnético estão presentes?

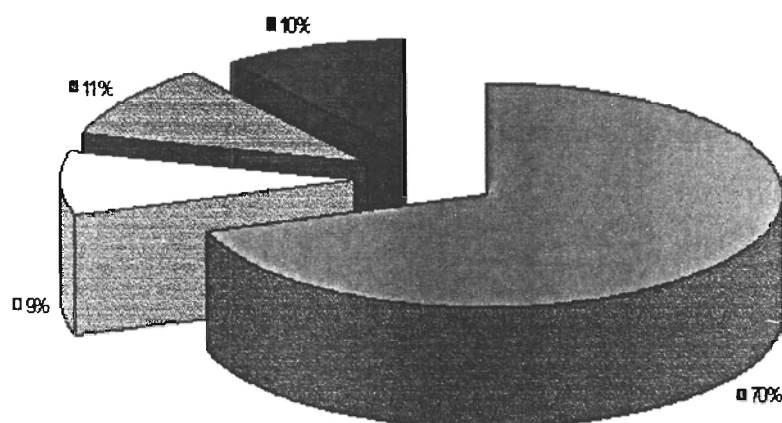
## 2.2. Levantamento das Respostas

**Questão 1** – Por que a Terra atrai os corpos para a sua superfície?

Todos os alunos citaram a força da gravidade como causadora da atração dos corpos para a superfície da Terra.

**Questão 2** – Ímãs atraem-se ou se repelem? Por quê?

Número de Alunos	Porcentagem	Observações
84	70	Sabem o conceito de atração e repulsão
11	9	Só citaram a existência dos pólos do ímã
13	11	Confundiram pólos do ímã com cargas elétricas
12	10	Não tem nenhum conceito formado

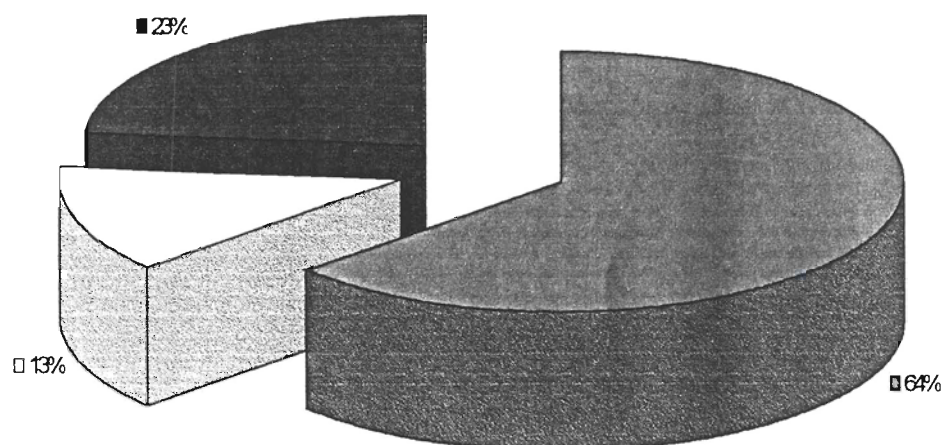


**Gráfico 1** - Análise percentual dos conceitos envolvidos na questão 2



**Questão 3** - Imagine-se perdido numa floresta e você dispõe somente de uma bússola. Você saberia usá-la ?

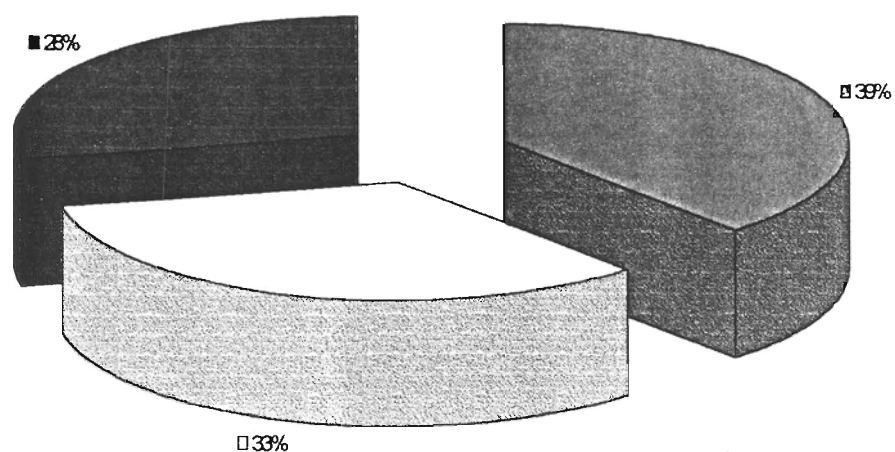
Número de Alunos	Porcentagem	Observações
76	64	Responderam que saberiam usar a bússola
16	13	Precisariam de maiores explicações para usar
28	23	Não saberiam utilizar uma bússola



**Gráfico 2 - Análise percentual dos conceitos envolvidos na questão 3**

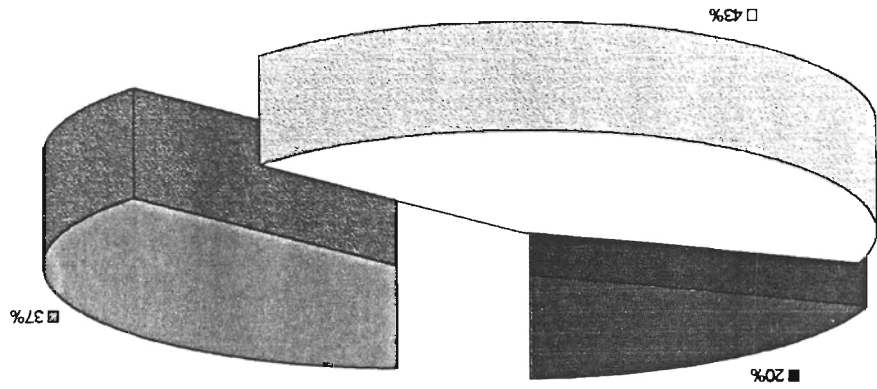
**Questão 4 - Você já ouviu falar em campo elétrico ? A que você associa ?**

Número de Alunos	Porcentagem	Observações
46	39	Associaram campo elétrico a carga elétrica
40	33	Já ouviram falar, mas não conseguiram fazer uma associação
3	28	Nunca ouviram falar em campo elétrico



**Gráfico 3 - Análise percentual dos conceitos envolvidos na questão 4**

<p><b>Questão 5 - Você já ouviu falar em campo magnético ? A que você associa ?</b></p>		
<b>Número de Alunos</b>	<b>Porcentagem</b>	
44	37	Associaram campo magnético a magnetismo, ímãs, materiais magnéticos presentes em equipamentos
52	43	Já ouviram falar, mas não conseguiram fazer uma associação
24	20	Nunca ouviram falar em campo magnético



**Gráfico 4 - Análise percentual dos conceitos envolvidos na questão 5**

**Questão 6** – Você conhece algum fenômeno onde os campos elétrico e magnético estão presentes ?

Nenhum dos alunos souberam citar fenômenos onde o campo eletromagnético se encontra presente.

### 2.3. Análise dos resultados

As respostas apresentadas pelos alunos, ou seja, seus conhecimentos prévios, podem ser divididas em pelo menos três categorias distintas:

- A porcentagem de acerto das questões 1, 2 e 3 (acima da média) indica que os alunos estão familiarizados com a atração gravitacional, os conceitos de atração e repulsão magnética e a bússola.
- A porcentagem de acerto das respostas às questões 4 e 5 (abaixo da média) indica que há pouca familiaridade com os conceitos de campo elétrico e campo magnético.
- A pergunta 6 mostra total falta de conhecimento sobre a atuação conjunta dos campos elétrico e magnético.

Parece, pois, que as questões 1, 2 e 3 indicam conhecimentos prévios ou, mais tecnicamente, subsunçores. Nossa proposta é associar esses conhecimentos prévios com a história da eletricidade e do magnetismo, em busca de uma aprendizagem significativa, tanto dos conceitos envolvidos nas questões 1, 2 e 3, bem como dos envolvidos nas restantes.

A História apresenta os problemas que levaram à descoberta de um conceito particular (no caso, os campos elétrico e magnético). Nesse movimento, ela revela os ingredientes, lógicos ou empíricos, que são importantes para a construção e significação do conceito. Do ponto de vista da *aprendizagem significativa*, seu papel parece ser, portanto, duplo: de um lado, ela pode ser a informação que interage com conhecimentos prévios, ora modificando-os, ora corroborando-os; de outro lado, ela é um guia na procura do tipo de *informação prévia* necessária à assimilação de um conceito.

### 3. Catálogo Historiográfico

Não se trata, nesta seção, de desenvolver uma história dos conceitos de campo elétrico e campo magnético. O objetivo é tão somente o de catalogar eventos, questões, problemas e experimentos que foram significativos para a constituição desses conceitos. Utilizam-se esses conhecimentos como *subsunçores* para a aprendizagem significativa dos conceitos que desejamos ensinar.

#### 3.1. Cargas e Magnetos

Apesar de efeitos magnéticos serem conhecidos desde a Antigüidade, os estudos sistemáticos podem ser datados de William Gilbert (1544 -1603). Ele pesquisou a atração entre magnetos e, também, efeitos eletrostáticos produzidos pelo atrito de certos materiais.

O físico alemão Otto von Guericke (1602 – 1686) realizou o seguinte experimento: ele atritou uma peça de âmbar e depois a encostou em dois corpos. Quando aproximados esses corpos se repeliam. Observou em outro experimento que um corpo não pode ser eletrizado sem contato com um corpo previamente eletrizado.

Os experimentos de Guericke foram explicados por Charles Du Fay (1698 – 1739) no século XVIII supondo dois tipos de eletricidade: resinosa e vítrea. A primeira é produzida, por exemplo, por âmbar atritado e borracha dura; a vítrea, por vidros ou mica atritados. Du Fay observou que cargas do mesmo tipo se repelem e de tipos diferentes se atraíam e que corpos neutros continham partes iguais das duas espécies.

Benjamim Franklin (1706 – 1790) supôs que a eletricidade fosse um fluido. Em sua teoria havia um só fluido, correspondendo à eletricidade vítrea; a eletricidade resinosa seria a ausência de fluido. Assim a corrente elétrica flui de um corpo com excesso de fluido para um sem esse fluido.

### 3.2. A Lei de Coulomb para as Forças Elétricas e Magnéticas

A medida dos efeitos de atração e repulsão foi feita por Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806) no século XVIII com sua balança de torção. Essa balança consiste em uma barra leve suspensa por uma linha muito fina e longa, com duas balanças em forma de esfera nas suas extremidades. Quando não existem forças agindo sobre as esferas, a barra assume uma certa posição, dita de equilíbrio. Se uma das esferas é eletricamente carregada e uma outra esfera carregada é posta na sua vizinhança, a força elétrica que age sobre a esfera móvel causa um movimento da barra em torno do seu ponto de suspensão.

Como a barra é muito fina, uma força, ainda que pequena, agindo sobre a esfera produz um desvio considerável da posição de equilíbrio da barra; o ângulo de rotação é proporcional à força. Carregando as esferas móvel e imóvel com cargas diferentes e variando a distância entre elas, Coulomb verificou que as forças de atração e repulsão elétricas são diretamente proporcionais ao produto da distância entre elas.

Os magnetos se atraem e repelem da mesma maneira que os corpos eletricamente carregados. Baseado nessa analogia, Coulomb assumiu que os fluidos elétricos e magnéticos obedeciam às mesmas leis.

Para determinar experimentalmente a lei que expressa a ação de "fluidos magnéticos" [8], Coulomb colocou uma agulha de material magnético em uma posição fixa e aproximou dessa agulha uma outra feita, também, de material magnético. Ao variar a posição da segunda agulha, ele verificou que a força magnética também variava.

Hans Christian Oersted (1777 – 1851) provou por meios experimentais a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Ele mostrou que uma corrente elétrica em um fio é capaz de mover a agulha de uma bússola, como mostrado por [7] na figura 1 :

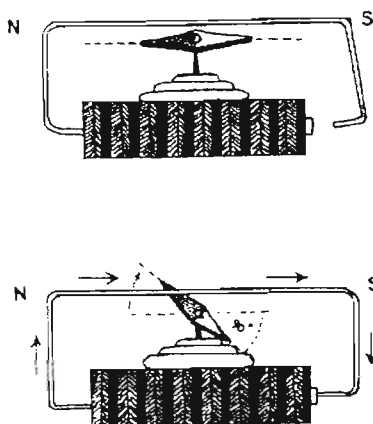


Figura 1 - Experiência de Oersted



### 3.3. O Campo Eletromagnético

Era um pressuposto aceito que forças elétricas e magnéticas, assim como as forças gravitacionais, agiam à distância através do espaço vazio. Michael Faraday (1791 – 1867) criticou essa concepção ao imaginar que o espaço entre elas fosse preenchido por "algo" que pudesse empurrá-las ou puxá-las. Ele fez uma analogia entre esse "algo" e "tubos de borracha" que se "esticam" entre cargas elétricas de sinais opostos (ou pólos magnéticos de sinais opostos). Quando as cargas (ou pólos) têm sinais iguais, esses tubos se "contraem", como mostrado por [7] na figura 2 abaixo:

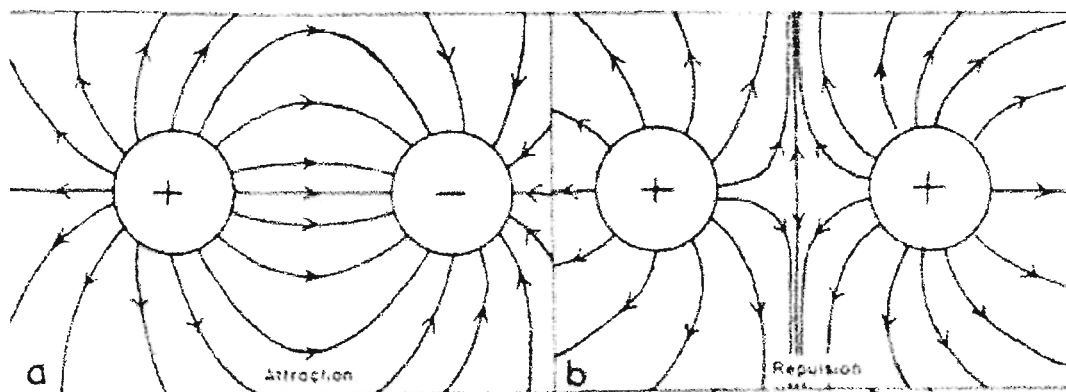


Figura 2 - A figura mostra as linhas de força ou "tubos de Faraday" entre duas cargas.

No caso dos magnetos, as direções dos "tubos de Faraday" são vistas espalhando-se limalhas de ferro numa lâmina de gelo, sobre a qual o magneto está localizado. As limalhas se magnetizam e se orientam na direção das forças magnéticas que agem ao longo dos "tubos", como mostrado por Gaspar [11] na figura 3:

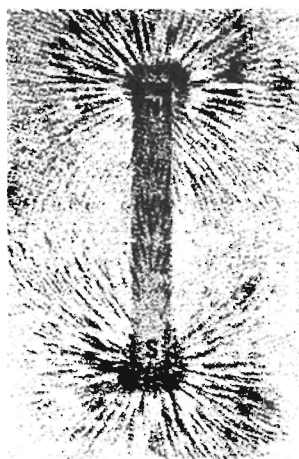
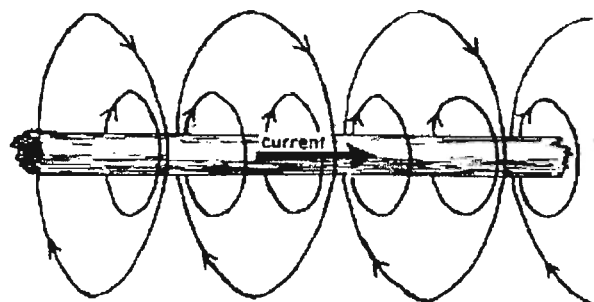


Figura 3 - Linhas de campo em um ímã em forma de barra

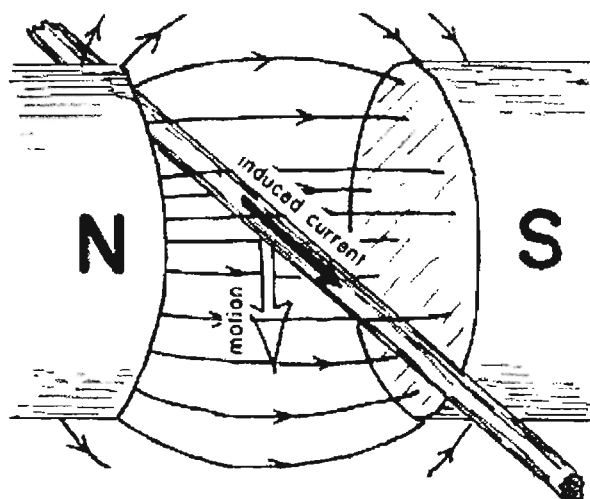
Os "tubos" elétricos e magnéticos também explicam outros fenômenos eletromagnéticos:

- Quando uma corrente flui através de um fio, "tubos" circulares se formam em torno dele ( figura 4 retirada de [7] )



**Figura 4 - A figura mostra os "tubos de Faraday em torno do fio, no qual passa uma corrente. Os "tubos" são círculos em torno do fio, no qual passa uma corrente.**

- Quando um fio condutor é movido relativamente a um magneto, o fio cruza "tubos magnéticos" e, como consequência, induz-se uma corrente nesse fio



**Figura 5 - Os "tubos de Faraday" entre os magnetos é mostrado. (retirada de [7])**

## 4. Fundamentação Teórica

### 4.1. Conceito de Campo em Física – uma Introdução

Imagine que um frasco de perfume tenha sido deixado sobre uma mesa. O que acontece após algum tempo? O odor do perfume se espalha e provoca uma alteração no espaço que o rodeia. E se uma pessoa chegar próximo à mesa? Ela sentirá o odor desse perfume, mas notemos que não é o vidro de perfume que age diretamente sobre a pessoa, e sim o odor contido nele.

O que se pode concluir a partir dessa observação? A alteração ocorrida no espaço é devida à presença do vidro de perfume, que é sentida em todos os pontos da região que a circunda. E mesmo que não haja uma pessoa próxima, essa alteração não deixará de existir.

Esse exemplo nos mostra a idéia do conceito de campo em Física. Um campo é uma perturbação que atua em todos os pontos ao redor de um corpo em torno do qual esse campo age. No caso que estamos analisando, a fonte de perturbação é o perfume, cujo odor exalado representaria o campo.

### 4.2. Campo Gravitacional Terrestre

A partir desse conceito podemos explicar, por exemplo, o fato incontestável de que todos os corpos abandonados próximo à superfície terrestre têm seu movimento dirigido pra baixo: toda massa tem a propriedade de originar ao seu redor um campo de força, através do qual exerce atração sobre as outras massas. Esse campo recebe o nome de campo gravitacional e por isso a Terra cria ao seu redor uma região na qual atrai os corpos colocados sobre ela.

A figura 6 mostra que a cada ponto do campo gravitacional terrestre associa-se um vetor  $\vec{g}$ , chamado convenientemente de vetor aceleração gravitacional. Esse vetor tem direção radial e sempre está dirigido para o centro da Terra, com intensidade que varia conforme a distância do ponto considerado e o centro da Terra.

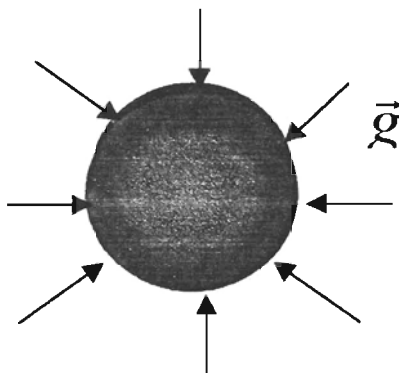


Figura 6 - Direção do vetor aceleração gravitacional terrestre

Foi verificado que a intensidade desse vetor  $\vec{g}$  corresponde ao módulo da aceleração de queda livre de um corpo, isto é, a aceleração da gravidade. A esse campo gravitacional está associada uma força, chamada de força gravitacional, cuja intensidade vale  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , onde  $m_1$  e  $m_2$  são duas massas quaisquer,  $G$  é a constante gravitacional (cujo valor é  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$ ) e  $r$  é a distância entre essas massas.

Essa relação foi proposta por Newton e podemos notar que ela vale para dois corpos quaisquer, sejam eles duas laranjas em cima de uma mesa, ou então dois planetas como Júpiter e Saturno. A partir disso, pode-se mostrar que o valor da aceleração da gravidade só depende do planeta considerado e da distância do corpo a esse planeta:  $g = G \frac{M}{(R+h)^2}$ , onde  $h$  é a distância em relação a superfície do planeta considerado. Para pontos próximos à superfície da Terra,  $h \approx 0$  e, com isso,  $g = G \frac{M}{R^2} \approx 9,83 \text{ m/s}^2$ , após a substituição dos valores numéricos.

### 4.3. Campo Elétrico

#### 4.3.1. Definição do vetor Campo Elétrico

Vamos considerar agora um corpo carregado e representá-lo como uma carga elétrica puntiforme ( $q$ ) numa região do espaço. Da mesma maneira que a massa cria um campo ao redor de si, essa carga criará um campo em torno do espaço que a circunda, que será chamado de campo elétrico (figura 7).

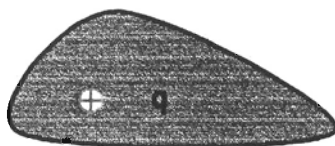


Figura 7 - Carga em um campo elétrico

Quando uma outra carga é introduzida no campo, este vai agir sobre ela, fazendo com que surja uma força, que é dada pela Lei de Coulomb.

### 4.3.2. Lei de Coulomb

Consideremos duas cargas elétricas puntiformes separadas por uma distância  $r$  qualquer, situadas no vácuo. Sabemos que o sinal dessas cargas determina se elas irão se atrair (sinais iguais- figura 8) ou se repelir (sinais diferentes - figura 9).

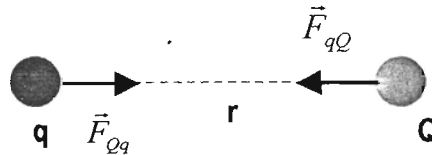


Figura 6 - Forças entre cargas de sinais contrários

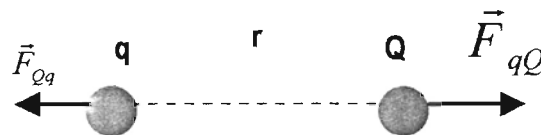


Figura 7 - Forças entre cargas de sinais iguais

O físico francês Charles Augustin de Coulomb estabeleceu uma relação para o cálculo da força elétrica entre duas cargas:  $F = K_o \frac{Qq}{r^2}$ , onde  $K_o$  é uma constante de proporcionalidade, chamada de constante eletrostática no vácuo, cujo valor no Sistema Internacional de Unidades (SI) vale, aproximadamente,  $K_o \approx 9,0 \cdot 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ . Entretanto, se as cargas puntiformes não estiverem no vácuo, o valor dessa constante varia de acordo com o meio.

É importante ressaltar que a causa da existência da força eletrostática é o campo elétrico. Com isso, ao fixarmos um ponto P de um campo elétrico, o vetor  $\vec{E}$  já está automaticamente associado a ele. Quando uma carga puntiforme é colocada nesse ponto, o vetor campo elétrico gera uma força que, dependendo do sinal da carga, terá ou não o sentido dele.

Da definição, podemos escrever  $\vec{F} = q\vec{E}$ , ou seja, os vetores  $\vec{E}$  e  $\vec{F}$  terão sempre a mesma direção, já que a carga q é um número real. Se  $q > 0$ , os vetores terão o mesmo sentido e se  $q < 0$ , terão sentidos contrários.

V/m (*Volt/metro*) no SI.

de campo elétrico é N/C (*Newton/Coulomb*), que pode ser expressa também por carga elétrica que está situada nesse ponto. Partindo dessa definição, a unidade de campo elétrico  $\vec{E}$ , cuja expressão matemática é dada por  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ , onde q é uma

Portanto, podemos associar a cada ponto do campo elétrico um vetor

constante, que será chamada de vetor campo elétrico ( $\vec{E}$ ).

seja, a razão entre a força e a sua respectiva carga de prova é igual a uma

Verifica-se experimentalmente que  $\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = (\dots) = \frac{F_n}{q_n} = \text{CONSTANTE}$ , ou

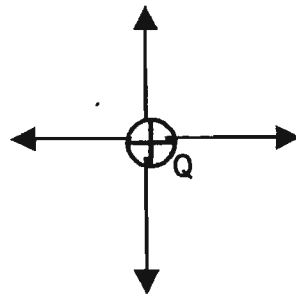
procedimento para a enésima carga ( $q_n$ ), surgirá uma força  $\vec{F}_n$  que agirá sobre ela.

valor  $q_2$ , criando uma nova força elétrica na carga ( $\vec{F}_2$ ). Repetindo esse chamada de  $\vec{F}_1$ . Retira-se a carga de prova e a substituímos por uma outra de definição de campo elétrico, surgirá nessa carga uma força elétrica que será carga  $q_1$ , que é chamada de carga de prova, e a colocaremos no ponto P. Pela inicialmente não existe nenhuma carga elétrica. Eletiza-se uma partícula com Seja P um ponto de uma região onde exista um campo elétrico, onde



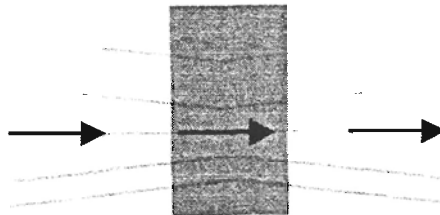
### 4.3.3. Linhas de Força

As linhas de força são utilizadas como um instrumento para visualizar o campo. Como exemplo, é mostrada na figura abaixo a linha de campo elétrica de uma carga positiva e vemos que elas são divergentes.



**Figura 8 - Linhas de campo elétrico de uma carga puntiforme positiva**

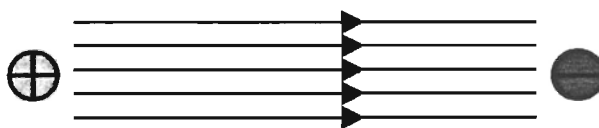
Embora as linhas de força não forneçam a intensidade do campo elétrico, elas se aproximam em regiões de campo mais intenso e se afastam em regiões de campo mais fraco.



**Figura 9 - As linhas de força convergem na região sombreada, mostrando que o campo elétrico é mais intenso nessa região.**

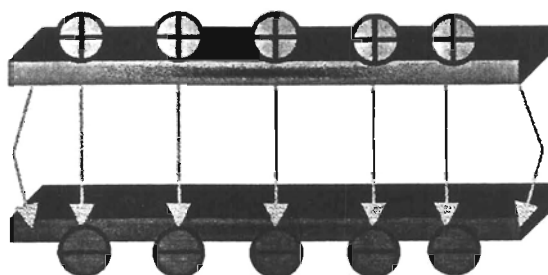
#### 4.3.4. Campo Elétrico Uniforme

Se o campo elétrico for constante em todos os pontos de uma região, suas linhas de força deverão ser retilíneas, paralelas, de mesmo sentido e distribuídas de maneira igual. Esse tipo especial de campo é chamado de campo elétrico uniforme.



**Figura 12 - Linhas de força de um campo elétrico uniforme**

O campo uniforme é algo impossível de se obter na prática, mas podemos produzir um campo aproximadamente uniforme por meio de duas placas condutoras, eletrizadas com cargas opostas.



**Figura 13 - Linhas de força entre duas placas paralelas**

### 4.3.5. Campo Elétrico de uma carga puntiforme

Vamos considerar uma carga elétrica puntiforme  $Q$ , que cria um campo elétrico  $\vec{E}$  na região que a envolve. Nessa região, tomemos um ponto  $P$ , situado a uma distância  $r$  da carga  $Q$  e vamos calcular o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico. Temos 4 casos a considerar, dependendo dos sinais das cargas envolvidas:

#### A. $Q > 0$ e $q > 0$

Nesse caso, a força elétrica, produzida em uma carga de prova  $q$  que foi colocada no ponto  $P$ , será de repulsão. Portanto, o sentido do campo elétrico será de afastamento da carga  $Q$ .

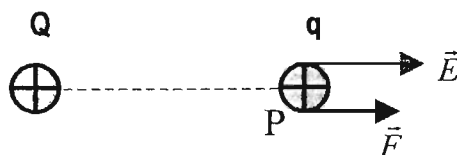


Figura 14 - Campo Elétrico para uma carga de prova positiva

#### B. $Q > 0$ e $q < 0$

Como a carga de prova é negativa, a força elétrica é de atração, mas o vetor campo elétrico tem sentido contrário ao da força. Novamente vemos que o sentido do vetor campo elétrico continua a ser de afastamento em relação à carga  $Q$ .

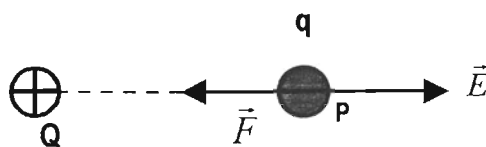
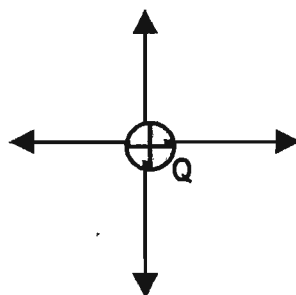


Figura 15 - Campo Elétrico para uma carga de prova negativa

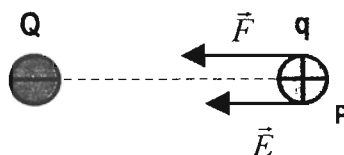
Com isso, vemos que se a carga puntiforme for positiva, em todo e qualquer ponto da região que a envolve, o vetor campo elétrico será de afastamento. Portanto, nesse caso, as linhas de força serão divergentes.



**Figura 16 - Campo Elétrico de uma carga puntiforme positiva**

### C. $Q < 0$ e $q > 0$

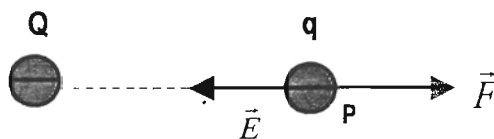
Quando a carga de prova positiva for colocada no ponto P, a força elétrica será de atração, e como o campo elétrico tem o mesmo sentido de  $\vec{F}$ , concluímos que o seu sentido será de aproximação da carga Q.



**Figura 10 - Campo Elétrico para uma carga de prova negativa**

**D.  $Q < 0$  e  $q < 0$**

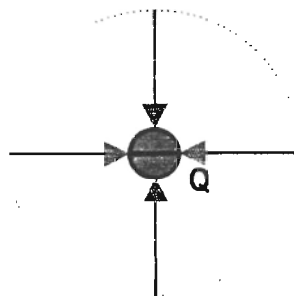
Nesse caso, a carga de prova é negativa e a força eletrostática é repulsiva. Entretanto, o sentido do vetor campo elétrico continua sendo de aproximação em relação à carga  $Q$ , já que ele tem sentido contrário ao da força elétrica.



**Figura 18 - Campo Elétrico para uma carga de prova negativa**

Portanto, quando a carga puntiforme for negativa, o vetor campo elétrico será de aproximação, ou seja, as suas linhas de força convergirão para a carga.

A partir dessa análise, podemos concluir que o sentido do campo elétrico não depende do sinal da carga de prova.



**Figura 19 - Campo Elétrico de uma carga puntiforme negativa**

Para calcular a intensidade do campo elétrico, vamos partir da lei de Coulomb  $F = K_o \frac{Qq}{r^2}$ . Substituindo isso na relação para o campo elétrico, temos

$$E = \frac{K_o \frac{|q||Q|}{r^2}}{|q|} \Rightarrow E = K_o \frac{|Q|}{r^2}, \text{ ou seja, a intensidade do campo elétrico é}$$

inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a carga  $Q$  e o ponto  $P$ . Notemos que existe uma grande semelhança com a expressão do campo gravitacional.

## 4.4. Campo Magnético

### 4.4.1. Ímãs e suas Propriedades

Ímãs naturais são materiais que atraem espontaneamente pedaços de ferro e estes foram observados na natureza antes mesmo da era Cristã.

Um pedaço de ferro não tem essa propriedade (atração), assim como outros metais. Entretanto, após serem submetidos a um processo de imantação, transforma-se num ímã. A esse tipo de corpo chamamos de ímã artificial.

Tantos os ímãs naturais quanto os artificiais apresentam algumas características, dentre as quais se destacam:

A ) O poder de atração de um ímã em forma de barra se concentra nas suas extremidades, que são chamadas de pólos do ímã.



Figura 20 – Pólos de um ímã

B ) Quando um ímã é suspenso pelo seu centro de gravidade, ele se orienta aproximadamente nas direções geográficas. O pólo Norte (N) de um ímã é aquele que está voltado para o sul geográfico e o pólo sul (S) do ímã é aquele que aponta para o norte geográfico.

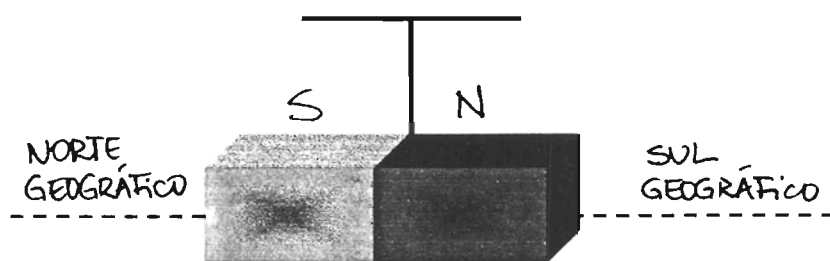
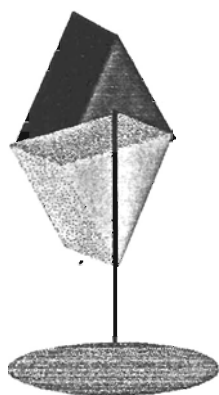


Figura 21 - Norte e Sul magnéticos x geográficos

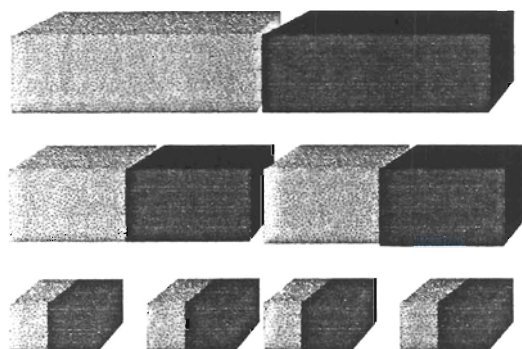


Essa propriedade foi utilizada na construção da bússola, que já era conhecida na China desde 200 d.C. Esse aparato é constituído de um ímã em forma de losango que pode girar em torno de um eixo.



**Figura 22 - Esquema da Agulha de uma Bússola**

C ) Ao se cortar um ímã em duas partes, surge na região do corte novos pólos e cada metade ficou sendo um ímã completo.



**Figura 23 – Inseparabilidade dos pólos de um ímã**

D ) Quando os ímãs são colocados em contato, exercem forças de atração ou repulsão, dependendo da posição dos seus pólos. Já é conhecido que pólos iguais se repelem e pólos diferentes se atraem.



**Figura 24 – Forças entre ímãs**

#### 4.4.2. Campo Magnético

Quando colocamos um ímã perto de uma agulha magnética, observamos que esta toma uma determinada orientação, ou seja, a bússola está sob a ação de uma força a distância. Portanto, como já foi visto nas forças elétrica e gravitacional, existe um campo, chamado nesse caso de campo magnético. A agulha nesse caso desempenha um papel semelhante ao de uma carga de prova no campo elétrico.

A direção do vetor indução magnética  $\vec{B}$  num ponto P do campo magnético é aquele para onde o pólo Norte da agulha aponta.

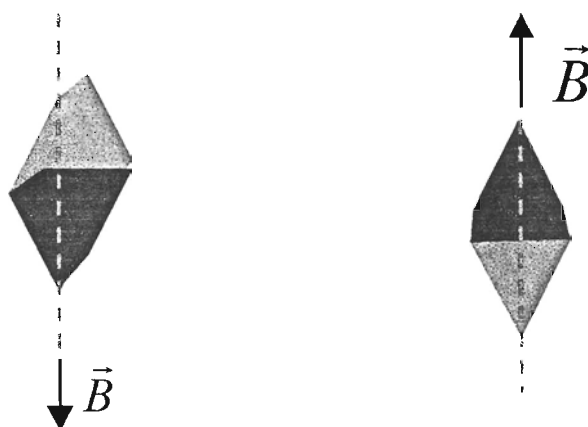


Figura 25 - Representação do campo magnético

Ao colocarmos limalhas de ferro sobre um ímã, que está em cima de uma folha de papel, iremos notar que elas vão se transformar em pequenas bússolas orientando-se, formando linhas que são chamadas de linhas de indução magnética. Essas linhas são tangentes, em qualquer ponto, à direção do vetor  $\vec{B}$  e convencionou-se que as linhas partem do pólo Norte e chegam ao pólo Sul do ímã.



Figura 26– Linhas de campo magnético de um ímã (figuras retiradas de [11])

Num ímã em forma de U há um campo magnético intenso junto aos pólos. Entre os braços do ímã, o campo magnético é uniforme, ou seja, o vetor campo magnético tem a mesma direção, sentido e intensidade em todos os pontos.

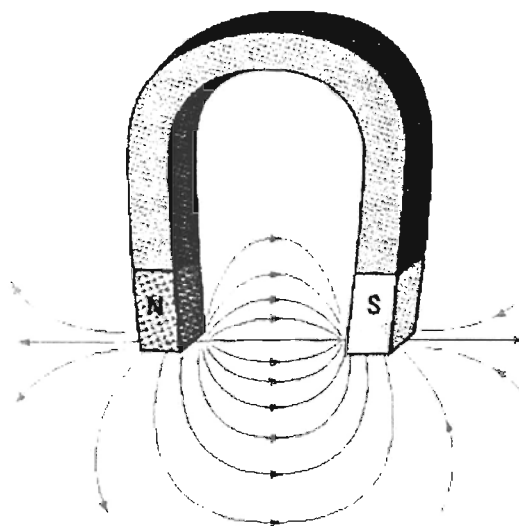


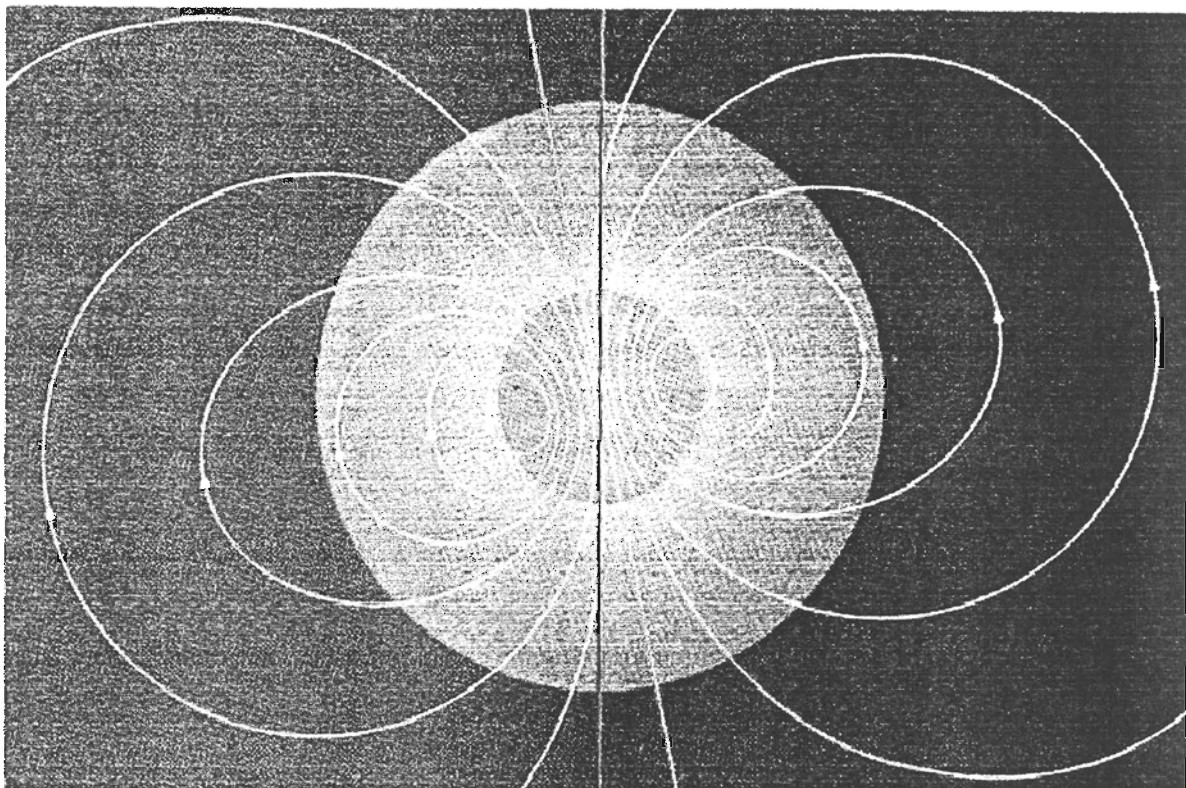
Figura 27 - Ímã em forma de U (figura retirada de [11])

#### 4.4.3. Campo Magnético Terrestre

Como já foi dito, o fato de um ímã se orientar mostra que existe um campo magnético produzido pela Terra e há muito tempo é sabido que uma bússola não fica orientada exatamente na direção Norte-Sul geográfica. Esse pequeno desvio, que ocorre pelo fato dos pólos magnéticos não coincidirem exatamente com os pólos geográficos é chamado de declinação magnética.

O pólo magnético do hemisfério Norte foi descoberto em 1831, a  $96^{\circ}46'$  de longitude oeste e  $70^{\circ}40'$  de latitude norte. O pólo magnético do hemisfério Sul foi localizado em 1909 e está a  $15^{\circ}$  de longitude oeste e a  $72^{\circ}25'$  de latitude Sul.

A figura 28 mostra os pólos magnéticos e algumas linhas de força do campo magnético da Terra e pode-se observar que o pólo Sul magnético fica próximo ao pólo Norte geográfico e o pólo Norte Magnético fica próximo ao pólo Sul geográfico.



**Figura 11 - Campo magnético da Terra (figura retirada de [11])**

#### **4.4.4. Campos Magnéticos produzidos por Correntes Elétricas**

Como já foi dito, a experiência de Oersted mostra que uma corrente elétrica origina um campo magnético em torno do espaço que a envolve.

Da mesma maneira que foi dito com o campo magnético de um ímã, representa-se o campo magnético produzido por uma corrente elétrica por linhas de campo. O mapeamento desse campo dependerá da forma do condutor.

#### 4.4.4.1. Campo magnético de um fio retilíneo

Considere um condutor reto muito longo percorrido por uma corrente elétrica contínua e constante, que gera um campo magnético ao redor desse condutor. Utilizando limalhas de ferro, pode-se ver que estas irão se dispor em circunferências concêntricas em relação ao condutor (figura 29).

Se forem colocadas agulhas magnéticas em torno desse fio, elas indicarão que o vetor campo magnético é tangente à linha de força em cada ponto.

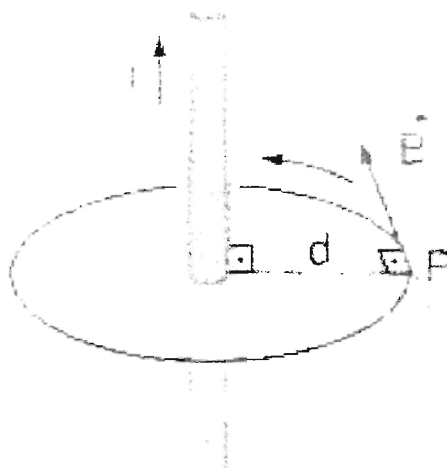


Figura 29 – Campo magnético produzido por um fio retilíneo (figura retirada de [4])

Para determinar o sentido do vetor campo magnético em relação ao sentido da corrente, utiliza-se a regra da mão direita:

Envolve-se o condutor com a mão direita, de tal forma que o polegar aponte para o sentido da corrente. Os outros dedos indicarão o sentido do vetor campo magnético.

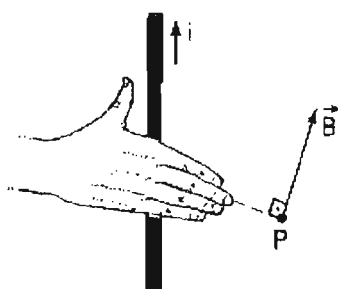


Figura 30 - Regra da mão direita (figura retirada de [4])

#### 4.4.4.2. Campo magnético produzido por uma Espira Circular

Uma espira circular nada mais é do que um fio enrolado em forma de circunferência. No centro da espira, como se pode ver na figura abaixo, as linhas de campo são retilíneas e perpendiculares ao plano da espira. Para saber o sentido do campo em qualquer ponto, utiliza-se a regra da mão direita.

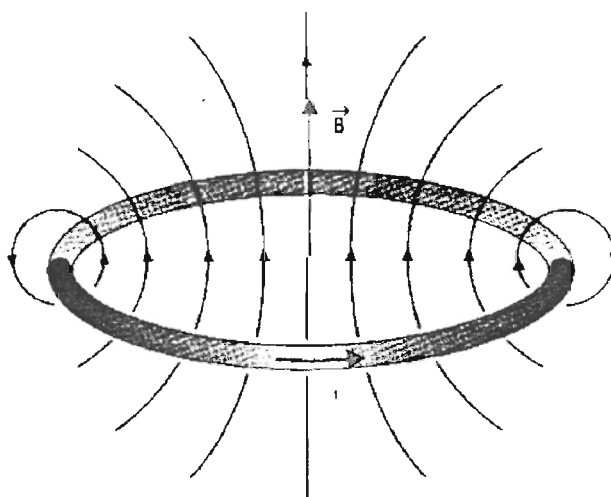


Figura 31 - Campo magnético produzido por uma bobina circular (figura retirada de [11])

#### 4.4.4.3. Campo Magnético produzido por uma Bobina

Quando se associam várias espiras circulares isoladas, forma-se uma bobina. As faces dessa bobina se comportam como os pólos de um ímã: a face Norte é aquela onde a corrente percorre o sentido anti-horário; quando a corrente a percorre no sentido horário, a face é Sul.

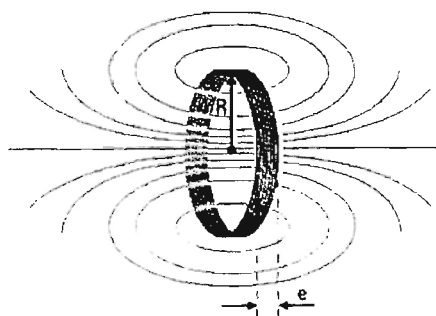


Figura 32 - Campo magnético produzido por uma bobina (figura retirada de [11])

Logo, uma face Norte de uma bobina repele o pólo Norte de um ímã e atrai o pólo Sul deste.



#### 4.4.4.4. Campo Magnético produzido por um Solenóide

Um fio enrolado em forma de hélice cilíndrica chama-se solenóide, que origina um campo magnético de um ímã em forma de barra.

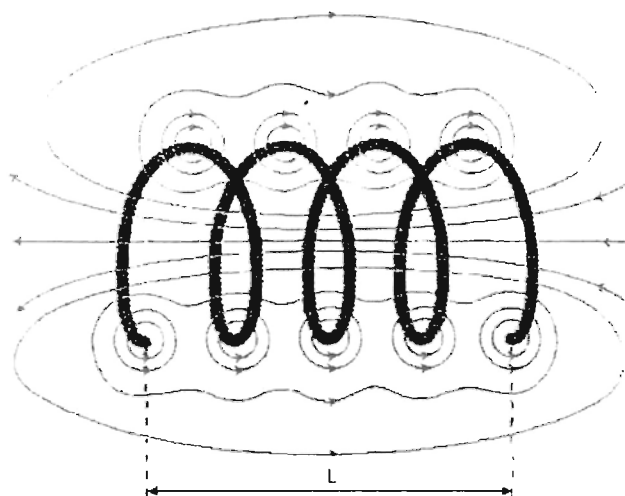
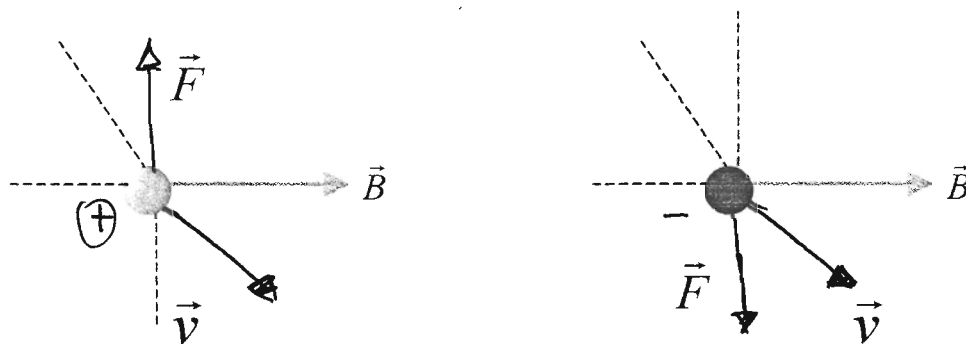


Figura 33- Campo magnético produzido num solenóide (retirada de [11])

A extremidade de onde as linhas de campo saem comportam-se como o pólo Norte do ímã e a extremidade onde as linhas entram são como o pólo Sul de um ímã. Dentro do solenóide as linhas de indução são praticamente retas paralelas e por isso podemos considerar o campo magnético uniforme no interior do solenóide.

#### 4.5. Força Magnética

Vimos que cargas elétricas em movimento originam um campo magnético. Logo, essas cargas estão sujeitas a uma força, que é chamada de força magnética e foi descoberta pelo físico Hendrik Antoon Lorentz. Ele verificou que a força exercida pelo campo magnético em uma carga, que se move com velocidade perpendicular a esse campo, situava-se num plano perpendicular ao que é formado pelos vetores  $\vec{B}$  e  $\vec{v}$ , como mostra a figura abaixo:



**Figura 34 – Força magnética sobre cargas positivas (bola vermelha) e negativas (bola azul)**

O sentido da força magnética é dado pela regra da mão esquerda, que consiste em colocar o dedo indicador (da mão esquerda, logicamente) no sentido de  $\vec{B}$ , o dedo médio no sentido de  $\vec{v}$  e o polegar dá o sentido da força magnética. Quando a carga for negativa, o sentido da força magnética será oposto ao dado pela regra da mão direita.

Baseado na experiência realizada, Lorentz determinou que a intensidade da força magnética é diretamente proporcional aos módulos da carga, do vetor campo magnético e velocidade, ou seja,  $F_m = |q|Bv$ . Além disso, ele constatou que a força magnética se anula quando a velocidade é paralela ao campo magnético.

Consideremos o caso geral onde a carga elétrica se desloca com velocidade  $\vec{v}$  e forma um ângulo  $\theta$  com o vetor  $\vec{B}$ .

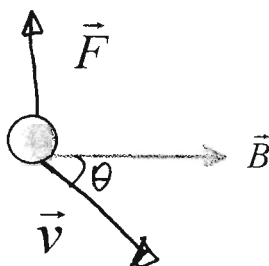


Figura 35 - Força magnética

Nesse caso, a velocidade  $\vec{v}$  terá as suas componentes horizontal e vertical.

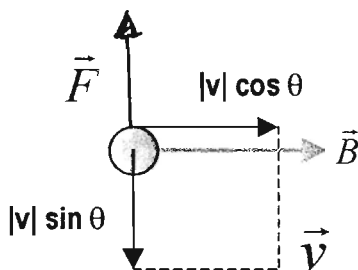


Figura 36 - Força magnética

Como a força magnética se anula na direção paralela à velocidade, então ela só é devida à componente na direção perpendicular ao campo magnética, ou seja,  $F_m = |q|Bv\sin\theta$ . No SI, a unidade da força magnética é o Tesla (T).

Uma outra convenção que será utilizada adiante diz respeito à orientação do campo magnético: quando este vetor estiver "entrando" no plano do papel, será representado pelo símbolo  $\otimes$  e quando estiver "saindo" do plano do papel, será denotado pelo símbolo  $\odot$ .

## 4.6. Movimento de Cargas em Campos Elétricos e Magnéticos Cruzados

O fato de a força magnética desviar partículas em movimento, tais como elétrons, prótons e íons é frequentemente utilizado em numerosas aplicações físicas, como por exemplo o filtro de Wien, que é um dispositivo que separa partículas nos aceleradores. *carregado*

A principal função de um seletor de velocidades é separar, dentre um feixe composto de partículas de mesma carga elétrica, mas com velocidades diferentes, partículas com uma determinada velocidade  $v_0$ . O feixe é lançado numa região onde existe um campo magnético  $\vec{B}$  e um campo elétrico perpendicular a ele, como mostrado na figura abaixo. *seletor de velocidade?*

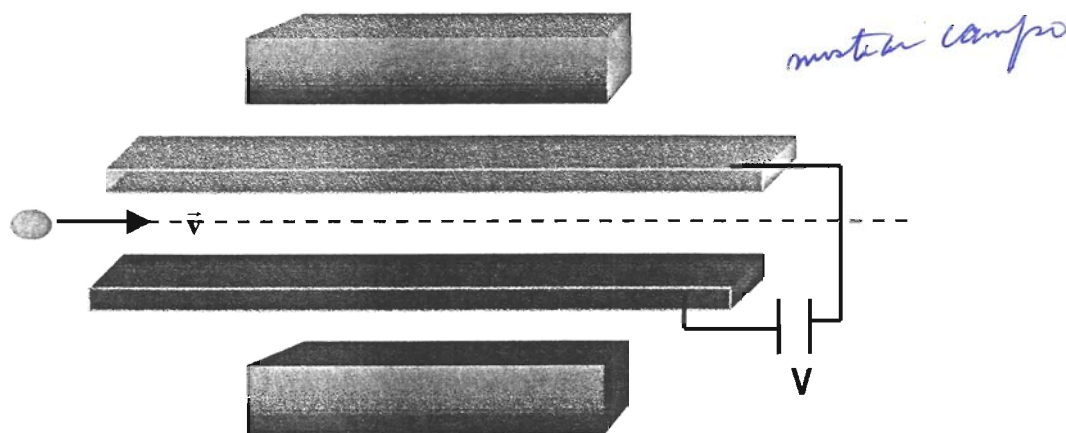


Figura 37 – Filtro de Wien

Podemos ver então que cada partícula fica submetida à força elétrica de módulo  $F_e = |q|E$ , e à força magnética, de intensidade  $F_m = |q|Bv_0$ .

Os valores de  $E$  e  $B$  são ajustados de modo que  $F_m = F_e$ , ou seja  $|q|Bv_0 = |q|E \Rightarrow v_0 = \frac{E}{B}$ . Com isso, a resultante das forças é nula somente nas partículas com velocidade  $v_0$ , e nesse caso, elas se deslocam em linha reta, pela Lei da Inércia.

Todos os íons saem com a mesma energia cinética quando são extraídos do feixe, ou seja,  $E_c = \frac{1}{2}mv_0^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$ . Logo,  $\frac{E}{B} = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} \Rightarrow m = \frac{2E_c B^2}{E^2}$ .

O campo magnético e a energia cinética são fixos e o campo elétrico depende da voltagem no terminal da fonte de íons. Logo, quanto maior for a voltagem, maior o campo elétrico e, conseqüentemente, menor a massa.

## 5. Experiências Propostas

### 5.1. Eletroscópio de Dupla Folha

**Objetivo:** Mostrar a atração e repulsão entre cargas elétricas dentro de um campo elétrico.

**Material utilizado :**

- um copo de iogurte
- três colchetes tipo bailarina
- 1 canudo plástico
- dois pedaços de canudo plástico com aproximadamente 1 cm
- dois fiapos de papel laminado

#### Descrição da montagem

A ) Pegue um copo de iogurte e perfure-o com o colchete na parte de baixo, de modo que a cabeça do colchete fique dentro do copo e as suas pontas saiam pela parte posterior do mesmo.

B ) Fixe o canudo na base montada em (A).

C ) Pegue o colchete e abra as lâminas num ângulo de  $90^\circ$ . Coloque a menor lâmina na parte superior do canudo.

D ) Insira os dois pedaços do canudo na lâmina que se encontra a  $90^\circ$  do canudo da base, mantendo uma pequena distância entre elas.

E ) Prenda com durex duas extremidades dos fiapos de papel de bala e insira-os na lâmina ficando cada parte de um lado da mesma.

#### Procedimento Experimental

Eletrize o canudo plástico atritando-o com um pedaço de papel higiênico ou lenço de papel. Aproxime-o dos dois fiapos de bala. Repita esta operação várias vezes. Em seguida insira o canudo entre os dois fiapos.

- O que acontece ?
- Por que ocorre esse fenômeno ?
- Por que precisamos repetir o procedimento citado acima muitas vezes para podermos observar o fenômeno ?

## **5.2. Experiência com Limalhas de Ferro**

**Objetivo:** Mostrar diferentes formas de linhas de força, utilizando ímãs de diferentes formatos como, por exemplo, ímã em forma de círculo, botões, letras.

### **Material Utilizado**

- Ímãs de diferentes formas
- Limalhas de ferro
- Uma folha de papel em branco

### **Procedimento Experimental**

A ) Coloque um ímã sob a folha de papel e jogue as limalhas de ferro por cima desta folha.

B ) Troque o ímã e espalhe novamente as limalhas sobre a folha.

Em ambos os procedimentos, represente graficamente (desenhe) o que está sendo visto.

## **5.3. Experiência de Oersted**

**Objetivo:** Mostrar que um campo magnético pode ser produzido por uma corrente elétrica.

### **Material utilizado**

- um pedaço de fio condutor (10 cm aproximadamente)
- 1 pilha de 1,5 V
- Bússola
- Porta pilhas e fios de conexão (opcional)

### **Montagem**

A ) Coloque a bússola sobre uma mesa plana e longe da influência de campos magnéticos que não o terrestre, como o de alto-falantes, por exemplo.

B ) Coloque o fio sobre a bússola, no sentido da sua agulha.

C ) Ligue o fio na pilha.

### **Procedimento Experimental**

- O que acontece ?
- O que acontece se o fio estiver perpendicular à bússola ?

## 6. Guia do Professor

### 6.1. Proposta de roteiro para o ensino dos conceitos de campo elétrico e campo magnético

Nesta seção, traçamos um roteiro para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético.

- A questão 1 foi respondida corretamente por todos os alunos. Portanto, a noção de campo pode ser ensinada aos alunos fazendo-se uma analogia da força gravitacional entre duas massas e a força elétrica entre duas cargas, ou a força magnética entre dois pólos de ímãs. Além disso, as experiências de Coulomb mostram que os campos elétrico e magnético obedecem leis similares às do campo gravitacional, o que reforça a analogia.

- Os “tubos de Faraday” têm grande valor pedagógico, na medida em que dão uma representação pictográfica e concreta de “algo” que existe entre duas cargas ou dois pólos. Esse “algo” seria o campo. Nesse ponto, propomos que os alunos realizem uma experiência do mapeamento do campo de um ímã com limalhas de ferro.

- A representação pictográfica dos “tubos de Faraday” permite “desenhar” as direções das forças. Isso relaciona qualitativamente forças e campos.

- As experiências devem ser realizadas pelos alunos, em conjunto com a exposição teórica do tema: ao se falar em força elétrica mostrar a atração e repulsão das cargas com o uso do eletroscópio (experiência 1). Na introdução do conceito de campo magnético, realizar a experiência 2 para visualizar as linhas de força do campo (experiência com as limalhas de ferro). A experiência 3 (Oersted) deve ser realizada quando se aborda a parte histórica relativa às suas descobertas e experimentos.

- A prova aplicada como avaliação desse trabalho se encontra no Apêndice, porém foram propostas outras formas de avaliação que podem ser igualmente utilizadas pelo professor. Essas formas seriam as desejadas, no entanto não foram utilizadas por questões de tempo, destinado às aulas no colégio.

## 6.2. Uma proposta de avaliação

Serão sugeridas 2 formas de avaliação, dependendo do interesse do professor na realização das experiências propostas:

- *Com as experiências*

Listas de exercícios	20 % da nota final
Trabalho Experimental	40 % da nota final
Avaliação	40 % da nota final

- *Sem as experiências*

Listas de exercícios	30% da nota final
Avaliação	70% da nota final

As listas de exercícios devem ser elaboradas pelo professor, contendo aplicações numéricas do que foi desenvolvido na sala de aula.

O trabalho experimental pode ser avaliado da seguinte maneira:

Montagem das Experiências	30 % da nota
Elaboração do relatório	50 % da nota
Exposição Oral dos resultados	20 % da nota



*Proposta*

### 6.3. Planejamento do curso

Tarefa	Número de horas / aula necessárias
Levantamento das questões alternativas	1
Apresentação Histórica	4
Conceito de campo Campo gravitacional terrestre	1
Lei de Coulomb Conceito de campo elétrico Exercícios	3
Linhas de força Campo elétrico de cargas puntiformes Exercícios	2
Propriedades dos ímãs Campo magnético Campo magnético Terrestre Experiências	3
Campos Magnético de correntes elétricas Exercícios	3
Força Magnética Exercícios	3
Filtro de Wien Exercícios	2
Apresentação oral das experiências	3
Correção das listas de exercícios	2
Avaliação	2
Total	29

## 7. Conclusões

Este trabalho se destina à alunos e professores de física do Ensino Médio. Apresentamos uma forma alternativa de abordar os conceitos de campo elétrico e magnético, utilizando o conceito de campo gravitacional como subsunçor, visando melhorar a eficiência do processo de ensino-aprendizagem desses conceitos; em particular, visamos os cursos de física no Ensino Médio. Nossa proposta baseia-se na opinião dos estudantes, como expressa nas respostas ao questionário para levantar os conceitos prévios dos alunos que foi aplicado a 120 estudantes do Colégio Pedro II, e a posterior análise dos resultados.

De um lado, ressaltamos que o uso de conhecimentos prévios dos alunos para introduzir novos conceitos ou até mesmo teorias é uma prática que deve ser explorada enfática e sistematicamente; isso torna-se, ainda, muito mais fundamental quando da iniciação ao estudo da Física. Por um outro lado, a abordagem histórica parece ser uma ferramenta muito eficiente, pois possibilita melhor organização da estrutura conceitual, na medida em que revela as concepções que fundamentam um conceito (de campo, seja) ou até teorias mais complexas, como o uso de campos cruzados na produção de feixes no acelerador Tandem do Instituto de Física- UFRJ.

O ensino de campo a partir da abordagem proposta nesse trabalho produziu um desempenho satisfatório na compreensão dos conceitos, em aproximadamente 60% dos estudantes, que foi verificado através da aplicação de uma prova nos moldes tradicionais.

Este resultado, de certo modo, já atendeu aos objetivos do trabalho, permitindo-nos averiguar as respostas escritas dos alunos, a aprendizagem dos conceitos de campo e força, assim como os da velocidade das cargas elétricas em campos cruzados.

Uma perspectiva futura para a continuidade deste trabalho seria utilizar o método proposto nos demais temas de eletromagnetismo que corresponde ao programa do Ensino Médio.

## 8. Referências

1. FARIAS, A.J. Ornellas. "Existem Dificuldades dos Alunos na Interpretação da Interação Carga-Campo?", *Revista Brasileira de Ensino De Física*, **21** (1999), 389 - 396.
2. MOREIRA, M.A. *Uma Abordagem Cognitivista do Ensino de Física*, Editora da Universidade Porto Alegre, 1983.
3. NARDI, R. e CARVALHO, A.M.P. "Ensino do Conceito de Campo de Força", em NARDI, R. (Org.), *Pesquisas em Ensino de Física*, Escrituras Editora, 1988, 61 - 70.
4. CALÇADA, C.S ; SAMPAIO, J.L. *Física clássica : Eletricidade*, Atual Editora, 1988.
5. RAMALHO, F. *Os fundamentos da física – volume 3*, Editora Moderna, 1988.
6. AUSUBEL, D., NOVAK, J.D., and HANESIAN, H. *Educational Psychology, a cognitive view*, Holt, Rinehart and Wiston, New York, 1978.
7. GAMOW, G. *The great physicists from Galileo to Einstein*, Dover, New York, 1988.
8. SHAMOS, M.H. *Great Experiments in Physics*, Dover, 1987.
9. NOVAK, J.D. & GOWIN, D.B. *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
10. LUNA, H., MAGALHÃES, S.D., AQUADRO, J.C., MARTINS, M.H.P., SANTOS, W.M.S., JALBERT, G., COELHO, L.F.S., de CASTRO FARIA, N.V. "Electron Detachment of  $\text{Si}^-$  by He, Ne and Ar", *Physical Review A*, **63** (2001).
11. GASPAR, A. *Física. Eletromagnetismo e Física Moderna*, Editora Ática, 1ª edição, 2000.

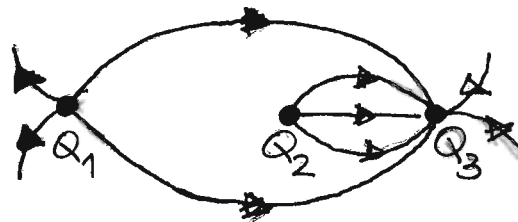
# APÊNDICE

## Sugestão de avaliação

1ª parte : Questões Objetivas ( 4 questões – 1,0 ponto cada)

1. A figura abaixo representa o campo elétrico de três cargas fixas  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ . Quais são os sinais das três cargas ?

- |     | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ |
|-----|-------|-------|-------|
| A ) | -     | -     | +     |
| B ) | +     | -     | +     |
| C ) | +     | +     | +     |
| D ) | -     | +     | -     |
| E ) | +     | +     | -     |



2. As palavras que completam corretamente a frase “A tendência da agulha de uma bússola é ficar \_\_\_\_\_ às linhas de indução do campo \_\_\_\_\_ da Terra.” são, respectivamente:

- A ) perpendicular – magnético
- B ) perpendicular – elétrico
- C ) paralela – gravitacional
- D ) paralela – elétrico
- E ) paralela – magnético

3. Uma partícula com carga elétrica  $q$  passa com velocidade  $\vec{v}$  por uma região na qual há um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ . A força que esse campo exerce sobre a carga:

- A ) Não depende da direção de  $\vec{v}$
- B ) Está contida no plano formado por  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$
- C ) É nula se  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$  são perpendiculares
- D ) É máxima quando  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$  são paralelos
- E ) É máxima quando  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$  são perpendiculares

4. Nos pontos internos de um longo solenóide percorrido por corrente elétrica contínua, as linhas de indução do campo magnético são:

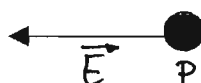
- A ) radiais com origem no eixo do solenóide
- B ) circunferências concêntricas
- C ) retas paralelas ao eixo do solenóide
- D ) hélices cilíndricas
- E ) não há linhas de indução, pois o campo magnético é nulo no interior do solenóide

2ª parte : Questões Discursivas (6,0 pontos – 1,5 cada)

1. Determinou-se experimentalmente que o vetor campo elétrico no ponto P de um campo elétrico tinha módulo  $E = 4,0 \text{ N/C}$  (a sua direção e sentido estão indicados na figura). Determine:

A ) A força eletrostática  $\vec{F}_1$  (módulo, direção e sentido) que se origina numa carga pontual  $q_1 = + 2,0 \mu\text{C}$  colocada em P

B ) A força eletrostática  $\vec{F}_2$  (módulo, direção e sentido) que se origina numa carga pontual  $q_2 = - 2,0 \mu\text{C}$  colocada em P.

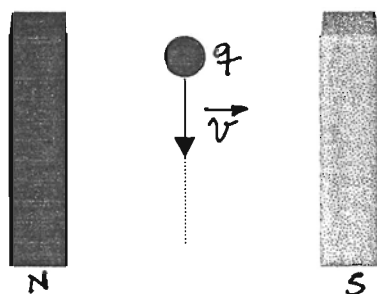


2. A figura mostra as linhas de força do campo eletrostático criado por um sistema de duas cargas puntiformes  $q_1$  e  $q_2$

A ) Nas proximidades de que carga o campo eletrostático é mais intenso ? Por quê ?

B ) Qual é o sinal do produto  $q_1 \times q_2$  ?

3. Um elétron de carga  $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  é lançado numa direção horizontal, paralela aos pólos de um eletroímã, com velocidade de  $2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ , conforme mostra a figura. Admitindo que o campo magnético seja uniforme, o elétron fica sujeito a uma força magnética de intensidade  $8 \cdot 10^{-14} \text{ N}$ . Qual é a intensidade do campo magnético ? Desenhe a força magnética que age sobre o elétron.



4. Uma espira circular de  $4\pi$  de diâmetro é percorrida por uma corrente de  $8,0 \text{ A}$ . Sabendo que o módulo do campo magnético no interior de uma espira circular é dado pela relação  $B = \frac{\mu \cdot i}{2R}$ , onde  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$

é a permeabilidade magnética no vácuo e R é o raio da espira, calcule o módulo, a direção e o sentido do vetor campo magnético no centro da espira.

